

## **Раздел 2. Применение полимерных материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве города**

### **2.1. Основные направления использования полимеров в народном хозяйстве**

В настоящее время материалы органического синтеза в той или иной мере используются практически во всех сферах человеческой деятельности, причем номенклатура полимеров и объем их использования непрерывно возрастают. В 2000 г. мировое производство пластмасс превысило 200 млн. т/год. Ежегодный прирост производства полимерных материалов в различных странах составляет от 5 до 20 %. Это обусловлено целым рядом преимуществ, которые обеспечивает использование полимеров взамен металла, керамики, дерева и других природных материалов, а именно:

- резким повышением производительности труда;
- снижением объема необходимых инвестиций на оборудование;
- существенным увеличением возможностей для конструкторских решений;
- снижением веса изделий;
- улучшением эксплуатационных свойств изделий;
- упрощением и облегчением сборки.

Следствием технологических преимуществ применения полимеров являются положительные экономические результаты:

- повышение конкурентоспособности производителя изделия;
- увеличение его прибыли;
- упрочение его положения на рынке.

Основные направления применения полимерных материалов в народном хозяйстве Украины представлены в табл. 2.1.

**Таблица 2.1 – Полимерные материалы в народном хозяйстве**

<b>Сфера деятельности</b>	<b>Основные объекты и направления применения</b>
<b>1</b>	<b>2</b>
Горное дело, газо-, нефтедобыча	Газонефтепромысловое оборудование, горное машиностроение, крепление скважин и т.д.
Автоматика и радиоэлектроника	Оборудование, полупроводники, голография, вычислительная техника, лаки, эмали и т.д.
Технология металлов, машиностроение и приборостроение	Узлы трения, подшипники скольжения, технологические процессы обработки металлов и т.д.

1	2
Кабельная промышленность	Защитные оболочки, изоляция проводов и кабелей и т.д.
Химическая и нефтехимическая промышленность	Конструкции, оборудование, лаки и эмали, стойкие в агрессивных средах, и т.д.
Пищевая промышленность	Упаковка изделий хлебопечения, кондитерских изделий, пищевых продуктов, завтраков и т.д.
Легкая промышленность	Конструкции, оборудование, лаки, швейные изделия, подошвы, набойки, кожгалантерейные изделия и т.д.
Строительство	Кровельные, теплоизоляционные, гидроизоляционные, вентиляционные материалы, полы, террасы, самоклеющиеся пленочные материалы, полимерные добавки для повышения долговечности бетона, трубы, облицовочные плитки, стенные, дверные блоки и т.д.
Железнодорожный транспорт	Конструкции подвижного состава, контактная сеть, конструкции железнодорожного пути и т.д.
Магистральный трубопроводный транспорт	Трубы, обмотки магистральных газо-, нефтепроводов, нефтепродуктопроводов, повышение прочности и теплостойкости нефтебитумных материалов, подготовка дна траншей и т.д.
Автомобилестроение и дорожное строительство	Покрытие автомобильных дорог, внутренний интерьер автомобилей, бамперы, топливные системы, автомобильные разъемы, трубки, патрубки, шланги для систем отопления и торможения, стеклоочистители и т.д.
Авиационная промышленность, судостроение и ракетостроение	Конструкции, оборудование, окраска ответственных транспортных средств, защита мостов, портов и гидротехнических сооружений и т.д.
Сельское хозяйство	С/х машиностроение, регулирование микроклимата в садоводстве и овощеводстве, хранение плодов и овощей и т.д.
Мелиорация и водное хозяйство	Дренаж грунтовых и дождевых вод, напорные и безнапорные трубы, грунто-пленочные противодиффузионные экраны, системы капельного и подпочвенного орошения, трубы и конструкции траншейного и бестраншейного дренажа, герметизирующие материалы и т.д.
Медицина	Имплантаты, периферические устройства (дренажи, трубки, фильтрующие элементы), перчатки, элементы оборудования, устройства для репродукции клеток и тканей, материалы и т.д.

1	2
Фармация	Инструменты, оборудование, материалы, функциональные элементы биохимического анализа и биохимического синтеза и т.д.
Военное дело	Конструкции, оборудование, приборы и т.д.
Спорт	Спортивный инвентарь (ласты, ролики, маски, наколенники и др.), спортивные снаряды, тренажеры, оборудование спортивных залов, открытых площадок и т.д.
Тара и упаковка	Тара для фасованных веществ, сыпучих веществ, емкости для едких жидкостей, гибкая и выдувная тара, упаковка сигарет, завтраков, кондитерских и хлебобулочных изделий, жевательной резинки, супов быстрого приготовления, одноразовая посуда, этикетки и т.д.

Из всего количества производимых пластических материалов (термопластов и реактопластов) около 40% идет на производство упаковочных материалов, почти 30% - на изготовление различных пленок, 5% - в мебельную промышленность, 3% - в автомобилестроение, остальные 22% используются в качестве конструкционных материалов. Наибольшее количество пластмасс производится в США. Крупнейшими производителями среди стран ЕЭС являются Германия (около 35%), Италия (18%), Франция (14%), Англия (13%). Наиболее динамично развивающимся рынком термопластов является рынок полипропилена, который в последние 30 лет сохранил наиболее высокие и устойчивые темпы роста. Специалисты прогнозируют, что в 2004 г. мировое потребление полипропилена составит почти 36 млн.т.

Все многообразие производимых полимерных материалов принято подразделять на три больших класса:

I – полимерные материалы общетехнического назначения (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид и др.), мировое производство которых достигает десятков миллионов тонн в год;

II - материалы инженерно-технического назначения – полиамид, поликарбонат, полиацетали и др.;

III - суперконструкционные материалы (полисульфон и его модификации, полифениленсульфид, полиэфиримиды и др.).

Рост и расширение производства полимеров, особенно полимерных материалов II группы, является признаком высокого уровня развития государственной экономики.

## **2.2. Полимерные материалы в городском хозяйстве**

Многоотраслевое хозяйство крупного города, обеспечивающее жизнедеятельность людей на достаточном уровне комфортности, включает целый комплекс организаций и предприятий. В структуре городского хозяйства около 75% фондов приходится на жилищно-коммунальное хозяйство, составляющего основу социальной сферы жизни людей: здания и сооружения, водозаборы, водопроводные очистные сооружения, водопроводные сети, канализационные очистные сооружения, канализационные сети, насосы, хлораторы, фильтры, берегоукрепляющие сооружения, подземные емкости для сжиженных газов, газгольдеры, газопроводы и др. Оно не может развиваться без создания и внедрения новой технологии, оборудования и материалов, подготовки высококвалифицированных кадров.

В городском строительстве и хозяйстве широко используются различные полимерные материалы. Среди них термопласты, к которым относятся полиэтилены высокого и низкого давления, полипропилен, поливинилхлорид, пентапласт, фторопласты, полистирол, поликарбонат, полиамиды и др.; реактопласты, к которым принадлежат эпоксидные смолы, фенолпласты, аминопласты и др.

Термопластические полимерные материалы характеризуются высокой химической стойкостью, низким водопоглощением и устойчивостью к действию органических растворителей, незначительной диффузионной проницаемостью, эластичностью, высокими теплофизическими свойствами и надежностью в эксплуатации.

### **2.2.1. Строительство**

К основным направлениям использования полимерных материалов в городском строительстве относятся:

- утепление строений с помощью ограждающих конструкций;
- теплоизоляция и гидроизоляция;
- отделка помещений;
- усиление строительных конструкций;
- повышение долговечности бетона;
- склеивание бетона с бетоном и другими материалами;
- производство и ускорение ремонтных и строительных работ;
- восстановление и повышение несущей способности элементов конструкций зданий и сооружений при их ремонте и реконструкции;
- улучшение свойств строительной древесины;
- устройство и ремонт кровли;
- устройство монолитных бесшовных полов и др.;
- антикоррозионная защита;
- установление вкладышей в стеновых блоках, которые позволяют уменьшить металлоемкость весовых конструкций зданий при улучшении теплоизоляционных свойств и др.

Полимерные материалы применяют в строительстве жилых зданий, производственных цехов, складских и торговых зданий, спортивных залов, плавательных бассейнов и др. Особенно широко в жилищно-гражданском и промышленном строительстве полимеры используют в качестве гидроизоляционных и герметизационных материалов.

Рулонные (пленочные) полимерные материалы используют для устройства кровли из сборных ковров в жилых и промышленных зданиях. Пленочные полимерные материалы, в том числе самоклеющиеся, которые обладают повышенной технологичностью, изготавливают на основе термопластов.

Для ремонта и устройства безрулонной кровли, а также гидроизоляции строительных конструкций применяют дисперсные (жидкие) кровельные материалы – мастики. Эти материалы, обладающие повышенной атмосферо-, кислото- и щелочестойкостью, предназначены для устройства и ремонта кровли, наружной гидроизоляции, в том числе подвергающихся воздействию агрессивных сред при температуре от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

Для герметизации стыков полносборных зданий и сооружений в строительстве используют мастики и ленты. Срок службы полимерных прокладок, предназначенных для герметизации стыков открытого и закрытого типов в строительстве крупнопанельных зданий, в три раза выше, чем у аналогов. Они характеризуются улучшенными упругоэластичными свойствами, а также повышенной атмосферо- и морозостойкостью.

Повышенными адгезионными свойствами обладают силиконовые герметики, предназначенные для герметизации стыков между элементами из стекла, керамики и металла.

Для гидроизоляции и химической защиты конструктивов, подвергающихся агрессивному воздействию, применяется гидрофобизация бетона и кирпичей путем нанесения слоя полимерных материалов или выравнивающих слоев значительной толщины. Разработаны и внедрены различные эпоксидно-полиуретановые составы для устранения трещин в бетоне и придания ему высокой химической стойкости и износостойкости.

### **2.2.2. Теплоизоляция**

Одним из важных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является минимизация тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, сооружений, технологического оборудования, топливопроводов. Наиболее эффективный способ сокращения тепловой энергии – качественная тепловая изоляция. Независимо от применяемых конструктивных и технологических решений обязательным условием для устройства эффективной тепловой изоляции является применение легких, долговечных, экологически безопасных утеплителей. Наиболее перспективными теплоизоляционными материалами являются пенопласты (в том числе трудновозгораемые): пенополиуретан, пенополистирол, пенополиизоцианураты, пенофенопласты. С целью повышения прочности и теплостойкости полимерами модифицируют также нефтебитумные материалы.

Теплоизоляция из полимерных материалов, предназначенная для конструк-

ций зданий, сооружений и промышленного оборудования, эффективна при использовании на сложных криволинейных поверхностях. Кроме того, она дает возможность отказаться от асбестовой напыляемой теплоизоляции, т.е. является экологически намного безопасней. Она выполняется в виде:

- теплоизоляционного покрытия (битумопермита);
- теплоизоляционной плиты (вспученного пермита и вяжущего).

Широкое применение для теплоизоляции пенополиуретана обусловлено тем, что коэффициент теплопроводности этого материала значительно меньше, чем других теплоизоляционных композиций, поэтому его теплоизоляционные свойства существенно выше. Плиты из пенополиуретана используют для теплоизоляции покрытий, стен, перегородок, перекрытий. Кроме плит применяют трехслойные элементы со средним теплоизоляционным слоем из пенополиуретана и обшивками из профилированных металлических листов, гипсокартонных, фиброцементных листов и других материалов. Эти конструкции используют в любых климатических условиях, в зданиях и сооружениях различного назначения, включая одно- и многоэтажные здания, выставочные помещения, спортивные сооружения и др. Сендвич-панели с наружными слоями из стальных листов и с теплоизоляцией из пенополиуретана используют в качестве наружных теплоизоляционных фасадных элементов

Вспенивающиеся пенополиуретановые композиции применяют в качестве опалубочной матрицы декоративных бетонных элементов, при изготовлении формованных изделий из пенопластов, ячеистых и компактных эластомеров и покрытий.

Жесткий интегральный пенополиуретан используют для изоляции низкотемпературных котлов, труб и коллекторов (с целью снижения потерь от теплового излучения и потребления энергии), встроенных в пол нагревательных элементов с паронепроницаемыми наружными слоями. Его применяют при изготовлении элементов для перегородок сантехнических кабин, холодильных камер, в качестве кабельных муфт, наружной бесшовной изоляции складских емкостей, устойчивых к истиранию бесшовных покрытий полов. Этот материал устойчив к температурным и атмосферным воздействиям, поэтому его используют для кровельных водостоков и стабильных оконных переплетов, не требующих утепления.

### **2.2.3. Жилищно-коммунальное хозяйство**

Полимерные материалы наиболее широко применяются в следующих конструкциях (элементах конструкций), сооружениях и системах коммунального хозяйства:

- технологическое оборудование;
- газотрубопроводы;
- водопроводные и канализационные трубы;
- пористые трубчатые аэраторы;
- скребки для горизонтальных отстойников;
- дренажно-распределительные системы зернистых фильтров для очистки оборотной воды;

- загрузка фильтров для очистки сточных вод;
- изделия санитарно-технического назначения, сантехдетали и крепеж;
- горячее водоснабжение;
- оборудование городского электротранспорта, безбалластные конструкции путей трамвая и метрополитена;
- сепараторы буксовых вагонных роликоподшипников;
- городское электроснабжение;
- дорожное строительство;
- объекты, находящиеся в условиях резкого колебания температуры;
- гидроизоляционные покрытия для защиты подземных частей зданий и сооружений от воздействия температурно-влажностного, коррозионного и других разрушающих факторов;
- теплоизоляция и герметизация городских коммуникаций (теплотрасс);
- производство волокон технического назначения;
- разовая посуда и т.д.

Руководящие материалы по свойствам и областям применения полимерных материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве включают:

- обзор классификации пластических масс;
- основные свойства и область применения основных видов пластических масс;
- рекомендации по выбору пластических масс в зависимости от их назначения;
- физико-химические свойства каждой группы пластмасс в зависимости от назначения;
- перечень наименований полуфабрикатов и поделочных материалов из пластмасс, рекомендованных к применению;
- технические требования на изготовление, правила приемки, методы контроля, маркировки, упаковки, транспортировки и хранения пластмасс.

Основные термопласты и реактопласты, применяемые проектными организациями, конструкторскими бюро и предприятиями жилищно-коммунального хозяйства Украины при изготовлении машин, приборов и оборудования, приведены в табл. 2.2. По убывающему влиянию наполнителя на техническую характеристику пластмасс их подразделили на шесть групп:

- I - с листовым наполнителем;
- II - с волокнистым наполнителем;
- III - с порошковым наполнителем;
- IV - без наполнителя;
- V - с газовоздушным наполнителем;
- VI - используются различные наполнители;
- VII - профильные поделочные изделия из пластмасс.

Назначение пластмасс в жилищно-коммунальном хозяйстве классифицируется следующим образом:

- К – конструкционные;
- Ф – фрикционные;
- АФ – антифрикционные;
- И – износостойчивые;
- ТЖ – тепложаростойкие;

Г – стойкие в интервале температур 120-150<sup>0</sup>С;  
 Г1 - стойкие в интервале температур 150-200<sup>0</sup>С;  
 Г2 - стойкие при температуре свыше 200<sup>0</sup>С;  
 Э – электро- и радиотехнические;  
 Э – с низкими;  
 Э1 – с повышенными;  
 Э2 – с высокими диэлектрическими свойствами или высокочастотные;  
 М – морозоустойчивые;  
 ХС – антикоррозионные или химически стойкие;  
 ПЩ – допущенные к контактированию с пищевыми продуктами;  
 П – для покрытия;  
 ТЦ – теплоизоляционные;  
 ЗЦ – звукоизоляционные;  
 Л – легкие, амортизационные.

Одним из наиболее важных направлений использования полимеров в жилищно-коммунальном хозяйстве является антикоррозионная защита строительных конструкций, сооружений и оборудования, подвергающихся воздействию газообразных и жидких сред средней и сильной степени агрессивности. Высокая эффективность и рентабельность антикоррозионной защиты с помощью полимерных материалов обусловлена их устойчивостью к воздействию различных агрессивных сред, значительным уменьшением протяженности стыков и швов, сокращением затрат ручного труда и продолжительности ремонтных работ. В воздухе полимеры устойчивы, но прямая солнечная радиация, температура, микроорганизмы могут вызвать растрескивание этих материалов.

**Таблица 2.2 – Области применения пластических масс на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства**

Вид пласт-масс	Условное обозначение технической характеристики	Наименование материала	Назначение	Области применения
1	2	3	4	5
Реакто-пласты	Кл. I – Пластмассы с листовым наполнителем	Текстолит	К, АФ, ТЖ, Э	Конструкционный антикоррозионный материал для шестерен, червячных колес, подшипников скольжения, амортизационных прокладок, вкладышей, электротехнических панелей и др. электротехнических деталей
		Гетинакс	К, АФ, Э	Электротехнический поделочный материал для радио- и телефонных деталей, высококачественных установок. Для работы на воздухе и в трансформаторном масле, для деталей, имеющих контакт с токоведущими частями, для прокладок, деталей механического сцепления и в качестве термоизоляции



Продолжение табл.2.2

1	2	3	4	5
	Кл. II – Пластмассы с волокнистым наполнителем	Стекло-текстолит	К, Э, Г, ХС	Для изготовления печатных плат
		Стекло-волокнит	К, Э, Т, ХС	Для деталей высшего класса точности любой конфигурации и габаритов с арматурой и резьбой
	Кл. III -Пластмассы с пористым наполнителем	Пресс-порошки общего назначения и с высокими электроизоляционными свойствами	К, ХС	Для деталей технического назначения с повышенной кислото- и водостойкостью, прочностью
Термопласты	Кл. IV- Пластмассы без наполнителя	Полиамиды	К, АФ, ХС, ЭИ, ЭП	Изготовление деталей, требующих высокой механической прочности, хороших диэлектрических свойств, стойкости к истиранию, абразивности, малого коэффициента трения, хорошего сцепления с металлом (втулки, вилки передач, вкладыши, подшипники, шестеренки и др. детали)
		Винипласт	К, ХС, Э	Для электроизоляции в качестве антикоррозионного и конструкционного материала для деталей, работающих при температуре от 0 до +40 <sup>0</sup> С (под нагрузкой) и от 0 до +60 <sup>0</sup> С (без нагрузки). Детали химической аппаратуры, тара, футеровка
		Стеклоорганические	К, ХС, Э	Остекление, приборостроение, изготовление изделий технического назначения
		Фторопласты	К, ХС, Т2, Э2	Высокочастотная техника в качестве диэлектрика. Изготовление уплотненных прокладок, набивок, работающих в агрессивных средах, деталей клапанов кислородных приборов, мембран, труб, шлангов, кранов, самосмазывающихся вкладышей подшипников. Защита черных металлов от воздействия агрессивных сред.
		Капрон	К, Ф, И, Э	Изготовление деталей технического назначения
		Полистирол	К, Т, ХС	Детали высокочастотной аппаратуры
		Композиции на основе эпоксидных смол	К, Т, Э	Высокопрочные клеи с различными наполнителями применяются для изготовления штампов
		Полиэтилен	К, ХС, П	Оборудование, конструкции, защита от коррозии

1	2	3	4	5
		Полипропилен	К, ХС	Детали, элементы, конструкции, изоляционные материалы, диэлектрик
		Полиуретан	К, ХС	Детали, элементы конструкций и сооружений, звукоизоляционный, теплоизоляционный материал, устройство полов в спортивных сооружениях

Эксплуатационная надежность, долговечность и несущая способность сооружений и конструкций зависят не только от силовых нагрузок, но и от химических, электротехнических, физико-химических и биологических воздействий, влияния концентрационных, радиационных и тепловых полей.

Проблема защиты жилищно-коммунального, строительного и металлического фондов Украины от коррозии приобрела особое значение и по актуальности приближается к экологической проблеме. Ежегодно в результате коррозионного разрушения выводится из строя 2-3% всех подземных сооружений. Особенно интенсивной коррозии подвергаются стальные трубы систем городского водоснабжения. По сравнению с трубами холодного водоснабжения они менее долговечны. Даже небольшой очаг коррозии служит причиной выхода из строя всего трубопровода.

Подземные трубопроводы, в том числе газопроводы практически не подвергаются моральному износу, а срок их эксплуатации при эффективной антикоррозионной защите может достигать многих десятков лет. Следовательно, долговечность газопроводов непосредственно зависит от уровня организации противокоррозионной защиты.

Надежная противокоррозионная защита магистральных коммунальных сетей и крупногабаритных металлоконструкций – одна из основных проблем в тепловом хозяйстве. Ее кардинальное решение тормозится недостатком изоляционных материалов, технологий процессов их нанесения, отсутствием налаженного серийного производства термостабильной изоляции.

Канализационные трубопроводы и сооружения на них подвергаются воздействию специфических агрессивных сред, формируемых продуктами спонтанных микробиологических процессов, которые снижают эксплуатационную долговечность этих объектов. Так, в 60-е годы при массовом использовании бетона в строительстве канализационных сетей планируемый срок эксплуатации трубопроводов из этого конструктива составлял 50 лет. Но практический опыт свидетельствует, что на некоторых участках интенсивное разрушение бетонных трубопроводов (вплоть до обрушений со всеми выходящими отсюда негативными последствиями как экономического, так и экологического характера) наступает уже через 5 лет эксплуатации.

Полимерные химически стойкие материалы, используемые для защиты поверхности сооружений и трубопроводов, подразделяются на следующие виды: плиточные, листовые, рулонные, мастики и замазки, растворы, лакокрасочные материалы. Вид применяемого материала зависит от конструкции защищаемого сооружения и условий его работы.

Полимерные материалы наносят путем наплавления или в виде суспензии в органическом растворителе путем распыления. Бетон и железобетон защищают полиэтиленовой пленкой специального профиля.

## **2.3. Использование полимерных материалов для повышения экологической безопасности, эксплуатационной надежности и долговечности сооружений водоотведения**

### **2.3.1. Экологическая безопасность и эксплуатационная надежность сетей водоотведения**

Экологическая безопасность для технических объектов представляет собой такое состояние системы: природа – техника – человек, которое обеспечивает сбалансированное взаимодействие природных, технических и социальных объектов, удовлетворяющих потребности жителей при сохранении природных экосистем и способности биосферы к саморегулированию. Поиск бесконфликтного существования системы человек – окружающая среда является единственной альтернативой угрозе экологического кризиса как в отдельных регионах, так и в глобальных масштабах. Обеспечение экологической безопасности технических объектов требует установления причин техногенных аварий и владения методами оценки и прогноза ожидаемых экологических ситуаций, которые обусловлены техногенными и природными факторами, изменяющимися в пространстве и времени.

Решение этой проблемы включает следующие направления:

- анализ экологических проблем (процессов) и их воздействий на окружающую среду;
- выделение источников нарушения экологической безопасности;
- определение показателей, необходимых для прогнозирования возможности возникновения неблагоприятных экологических ситуаций, оценка экологического риска;
- изучение существующих приемов предотвращения или уменьшения нарушений экологических ситуаций;
- определение значения нормативных документов в снижении экологического риска на данном объекте техносферы.

Наиболее острой проблемой экологической безопасности и эксплуатационной надежности водоотведения является коррозионное разрушение бетонных трубопроводов.

Опыт эксплуатации сетей водоотведения свидетельствует о невысокой надежности таких широко применяемых и технологичных конструкционных материалов, как бетон и железобетон. Интенсивность аварий на 1 км железобетонных трубопроводов (которые составляют около  $\frac{1}{4}$  всех канализационных сетей) в год достигает 1,8, в то время как на 1 км керамических – 0,09, а на 1 км кирпичных – только 0,009. 70% аварий на этих объектах обусловлены коррозионным разрушением трубопроводов. В сооружениях

водоотведения активность микробиологической коррозии, которая поражает бетон и железобетон свода трубопроводов, многократно превосходит аналогичную характеристику в наземных сооружениях из аналогичных конструкционных материалов. Поскольку бетон и железобетон применяются как конструкционные материалы для крупномасштабных сооружений водоотведения – бассейновых и главных канализационных коллекторов, то отказы в их работе, а тем более аварии приносят не только значительный экономический и экологический ущерб в результате нарушения функционирования предприятий городского хозяйства, интенсивного загрязнения биосферы, имеющих долгосрочные экологические последствия, но и угрожают здоровью и жизни населения.

В настоящее время общая протяженность канализационных сетей Украины составляет около 34 тыс. км. В сетях преобладают трубы диаметром до 500 мм (60%), выполненные в основном из чугуна (20%) и керамики (38%). Трубопроводы больших диаметров (более 500 мм) составляют около 40% и сделаны в основном из бетона и железобетона. Более 65% канализационных трубопроводов отработали свой нормативный срок. Трубопроводы диаметром до 500 мм повреждаются в основном за счет физико-механических факторов (до 70% случаев). Трубопроводы диаметром более 500 мм подвержены коррозионным разрушениям за счет микробиологических и химических факторов.

В довольно неудовлетворительном состоянии находятся централизованные системы водоотведения, особенно участки магистральных коллекторов диаметром более 600 мм, выполненных из бетона и железобетона. Разрушению в первую очередь подвергаются участки с безнапорным режимом в зонах повышенной турбулентности водного потока (перепадные колодцы и камеры, быстротоки, повороты и т.п.), а также участки, по которым транспортируются стоки, содержащие большое количество органических веществ.

Ежегодные прямые затраты на ремонтно-восстановительные работы только за период 1985-1995 гг. составили в Украине 200 млн. рублей в ценах 1984 г., из которых 80% израсходованы на восстановление разрушенных коррозией участков.

Нормативные документы, используемые при проектировании и строительстве канализационных сетей (СНиП 2.04.03-85, СНиП 2.03.11-85), не содержат положений, определяющих эксплуатационную надежность, долговечность и экологическую безопасность канализационных трубопроводов с учетом воздействия на них особо агрессивных условий, при которых скорость коррозии может превышать 10 мм/год. В этих документах отсутствуют данные о микробиологическом факторе коррозии, происходящей в сетях водоотведения, формировании и составе специфических для этих технических объектов эксплуатационных сред и методах защиты конструктивных материалов.

### **2.3.2. Механизм коррозионного разрушения бетона канализационных коллекторов**

Бетон – это искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рационально подобранной смеси вяжущего, заполнителя и воды. Главной составляющей бетона является вяжущее вещество, по виду которого различают бетоны цементные, силикатные, гипсовые, шлако-щелочные, полимербетоны, полимерцементные бетоны.

Коррозионное разрушение цементного бетона самотечных коллекторов характеризуется большой скоростью и масштабностью процесса, а также специфическим видом: пораженной является только сводовая часть трубопроводов. Лотковая часть, как и трубопроводы в напорных участках сети остается совершенно неразрушенной. Прокорродировавший бетон представляет собой рыхлую серую массу, не имеющую прочности, с разрушенным цементным камнем и оголенным крупным заполнителем, следами ржавчины от арматуры (рис. 2.1, 2.2).

В настоящее время большинством отечественных и зарубежных специалистов механизм коррозионного разрушения железобетона в трубопроводах водоотведения представляется как результат микробиологической сернокислотной агрессии (микробиологической коррозии) – воздействия серной кислоты, образуемой на своде тионовыми бактериями. В целом схема образования агрессивной среды в сетях водоотведения и ее воздействие на бетон/железобетон свода коллектора состоит из нескольких этапов:

- образование сероводорода в сточной воде вследствие микробиологической сульфатредукции или других микробиологических процессов;
- выделение сероводорода из сточной жидкости в подсводовое пространство;
- растворение сероводорода в конденсатной влаге на поверхности труб и окисление его тионовыми бактериями до серной кислоты, разрушение материала строительных конструкций.

Подверженность бетона микробиологической коррозии объясняется его химическим составом, структурой и механическими свойствами: его, как и другие объекты техносферы неорганической природы, наиболее активно разрушают бактерии, образующие сильные неорганические кислоты.

Роль тионовых бактерий, окисляющих широкий круг соединений серы до сульфатов, как фактора создания агрессивных сред в техносфере очень велика. По своей окислительной активности тиобациллы могут конкурировать с процессами химического окисления сульфидов металлов, элементарной серы, сульфата закиси железа. Хотя при коррозии бетона канализационных труб тесно переплетаются химические и микробиологические процессы, но наиболее агрессивным агентом по отношению к бетону является продуцируемая тиобациллами серная кислота (коррозия II вида по классификации В.М. Москвина).





**Рис. 2.1** — Разрушенный свод бетонного коллектора



**Рис. 2.2** — Стандартные бетонные балочки после экспозиции на своде канализационного коллектора (слева направо: 14, 6 месяцев, контроль)

Состав микробных сообществ, развивающихся на открытых поверхностях сооружений водоотведения, не зависит от материала конструкций и материала образцов, а определяется и регулируется экологической средой, в том числе стадией коррозионного процесса. Из всех изученных эколого-трофических групп микроорганизмов самыми агрессивными по отношению к бетону являлись тионовые бактерии.

По данным исследований образцов бетона сетей водоотведения г. Харькова установлена корреляция между глубиной коррозионного поражения бетона, контролируемого показателем pH, и концентрацией в нем экстремально ацидофильных тиобацилл - *Thiobacillus thiooxidans*.

Как свидетельствуют данные химического исследования образцов бетона из сетей водоотведения, в динамике коррозионного процесса происходят активные превращения элементов, в том числе биогенных: концентрация общей серы и органического углерода возрастает, общего азота изменяется по параболической зависимости, а кальция и магния снижается.

Кроме химического коррозионного воздействия (растворения цементного камня и продуктов его взаимодействия с органогенными средами) микроорганизмы оказывают на бетон и физико-химическое воздействие. Это:

- нарушение сплошности бетона в результате раскливающего действия веществ, адсорбированных на поверхности контакта цементного камня с заполнителем;
- трансформирование кристаллогидратов цементного камня электрофизиологической активностью микроорганизмов.

Данные рентгенструктурных исследований свидетельствуют, что образуемая тиобациллами серная кислота взаимодействует с гидроксидом и гидросиликатами кальция цементного камня и гидросиликатами материала заполнителя. При этом высокоосновные гидросиликаты кальция цементного камня переходят в менее основные (с последующим их разложением до карбонатов и кремнезема), в этtringит, гидрокарбоалюминат, сульфат кальция (гипс) и не обладающий вяжущими свойствами кварц. Сульфат кальция имеет более высокое значение произведения растворимости, чем исходные вещества, и выщелачивается из бетона (коррозия II вида). Этtringит за счет разности в коэффициентах расширения обуславливает появление трещин (коррозия III вида).

Интенсивность микробиологического коррозионного процесса настолько велика, что затрагивает не только цементные гидраты, но и материал заполнителя. На некоторых участках бетонных коллекторов разрушение свода, а, следовательно, аварийная ситуация, наступает через 10-15, а иногда и через 5 лет эксплуатации.

### 2.3.3. Генезис агрессивных эксплуатационных сред в сетях водоотведения

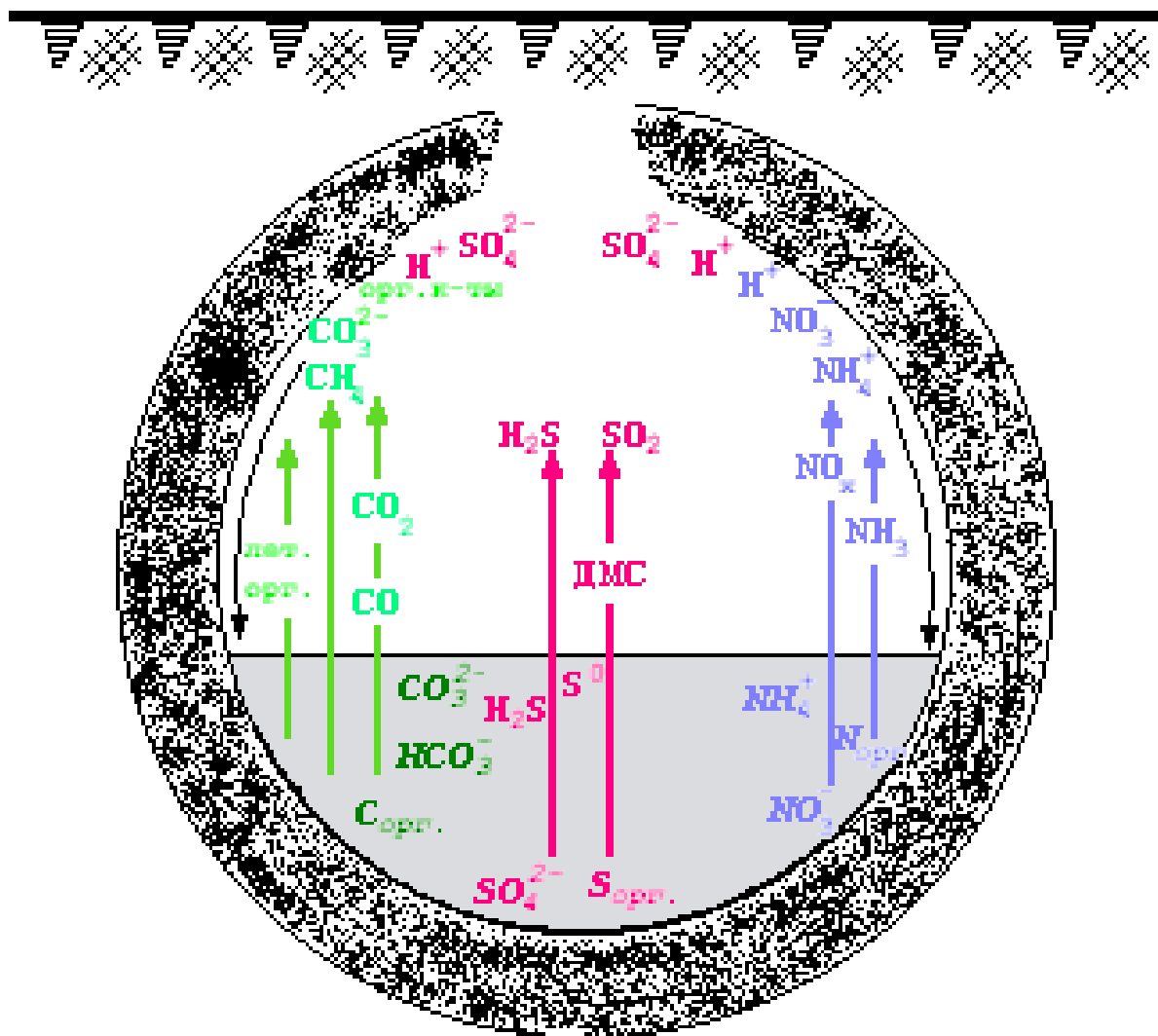
Анализ данных комплексного (химического, микробиологического, материаловедческого и физико-химического) обследования участков канализационных коллекторов г. Харькова и научно-технической литературы с использованием методов биогеохимии (исследования превращений и миграций, которые происходят в экосистеме не с соединениями, а с элементами) позволяет представить генезис коррозионно-агрессивных соединений в трубопроводах водоотведения.

Самотечный канализационный коллектор можно рассматривать как техногенную экосистему, которая включает три фазы: жидкую (транспортируемые сточные воды), газообразную (атмосферу коллектора) и твердую (бетон свода) и их микробиоценозы (рис. 2.3). Каждая фаза имеет свои доминирующие химические элементы и характерные соединения. В стабильную, гармоничную экологическую систему эти фазы связывают последовательные реакции биогеохимических круговоротов трех биогенных элементов – серы, углерода и азота. Главным двигателем трансформаций соединений, окисления-восстановления элементов, их миграции из жидкой фазы в газообразную, затем в твердую и из нее (частично) – в исходную жидкую являются микроорганизмы. Их видовой состав, направленность и активность биохимических реакций зависят от состава сред обитания – жидкой и твердой, а также от состава газообразной фазы. Но и микроорганизмы, в свою очередь, воздействуют продуктами своей жизнедеятельности на эти среды и кардинально их преобразовывают.

Иницилирующим звеном, запускающим всю цепь взаимодействий и взаимосвязей в экосистеме, являются микробиологические трансформации компонентов сточных вод, транспортируемых трубопроводами. Главные биогенные элементы – углерод, сера и азот попадают в экосистему канализационных коллекторов со сточными водами. Как видно из данных табл. 2.3 эти элементы присутствуют в сточных водах в соединениях различной химической природы: углерод преимущественно в органических, сера и азот – в неорганических соединениях (сульфатах и аммонийных солях). При этом концентрации углерода и серы приблизительно равны, а концентрация азота в 2-2,5 раза ниже. Необходимо отметить, что по химическому составу сточные воды не агрессивны по отношению к бетону. Загрязнения сточных вод являются питательным субстратом для многочисленных микроорганизмов, развивающихся в водной фазе экосистемы.

Микроорганизмы попадают в трубопроводы водоотведения с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами. Экологически значимыми и влияющими на техногенную безопасность сооружений водоотведения являются масштабные микробиологические процессы, которые обусловлены жизнедеятельностью эколого-трофических групп, доминирующих в микробиоценозах.





**Рис. 2.3** — Миграция углерода, серы и азота в техногенной экосистеме канализационных трубопроводов (курсивом обозначены соединения, находящиеся в сточных водах, обычным шрифтом – соединения, образованные микроорганизмами в сточных водах и на сводовой части трубопровода)

Таблица 2.3 – Углерод, сера и азот в различных фазах экосистемы коллекторов

Фазы экосистемы коллекторов и концентрация в них биогенных элементов	Соединения биогенных элементов			Среднее соотношение C:S:N
	углерода общего (в нем орган., %)	серы общей (в ней орган., %)	азота общего (в нем орган., %)	
Жидкая (мг/дм <sup>3</sup> )	50-80 (75-85)	50-95 (10-20)	12-50 (8-10)	10:(5-10):(1-5)
Основные соединения	карбонаты, бикарбонаты, органические в-ва	сульфаты, сульфиды, органические в-ва	аммоний, нитраты, нитриты, органические вещества	
Газообразная (мг/дм <sup>3</sup> )	0-0,25 (не опред.)	0-0,20 (0-0,5)	0-0,02 (не опред.)	10:(0-10):(0-1)
Основные соединения, образованные в сточной воде	диоксид и оксид углерода, метан	сероводород, диоксид серы, меркаптаны	аммиак, оксиды азота	
Твердая – бетон при глубоком коррозионном поражении (%)	1,1-2,2 (0-50)	2,5-10,0 (не опред.)	0,21-0,52 (90-94)	10:(15-60):(0,6-3,0)
Основные соединения	карбонаты, органические вещества	сульфаты, сульфиды, бисульфиды, сера элементарная	нитраты, аммонийные соли	

Жидкая фаза экосистемы коллекторов включает две экологических ниши:

- транспортируемые сточные воды, в которых видовой состав микробиоты колеблется;
- лоток, на поверхности которого иммобилизован микробиоценоз развивающийся в относительно стабильных условиях.

Метаболизм бактерий второй экологической ниши обуславливает доминирующие микробиологические превращения компонентов сточных вод, происходящие в сетях.

Для миграции биогенных элементов в экосистеме, формирования химического состава ее газообразной и твердой фаз, селекции микробиоценозов на своде и интенсивности микробиологической коррозии в этой фазе значимыми являются те микробиологические процессы в сточных водах, которые приводят к образованию газообразных продуктов.

В результате гетеротрофной микробиологической деструкции в анаэробных и микроаэрофильных условиях органических и неорганических серо-, углерод- и азотсодержащих загрязнений транспортируемых сточных вод (сульфатредукции, гниения, брожений, неполных окислений, денитрификации и др.) образуется ряд газообразных коррозионно-агрессивных соединений –  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$  и др. (рис. 2.3). Их концентрации в атмосфере подсводового пространства, установленные в сетях водоотведения г. Харькова, и в сетях водоотведения других городов, представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – **Химический состав газовых выбросов из канализационных сетей**

Соединения	Единицы измерения концентрации	Концентрация в газовых выбросах	ПДК
$H_2S$	мг/м <sup>3</sup>	2-100	10*
ДМС	мг/м <sup>3</sup>	$(1-4) \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-6}^{**}$
$SO_2$	мг/м <sup>3</sup>	5-30	10*
$NH_3$	мг/м <sup>3</sup>	0-10	20*
$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	0-5	5*
CO	мг/м <sup>3</sup>	4-25	20*
$CO_2$	Объемные %	0,1-1,5	0,5*
$CH_4$	Объемные %	0,5-6,0	2,0*

\*- ПДК в рабочей зоне, \*\* - ПДК населенных мест.

Газообразные продукты микробного метаболизма выделяются из сточных вод в атмосферу коллектора и частично растворяются непосредственно в конденсатной влаге на своде сооружения либо в аэрозолях атмосферы трубопровода, которые затем конденсируются на своде.

Концентрация этих газообразных соединений в атмосфере подсводового пространства, а следовательно, и в выбросах из сетей в атмосферу прилегающих городских регионов значительно превышает не только ПДК для населенных мест, но и ПДК для рабочей зоны. К тому же в газовой смеси присутствует диоксид серы, усиливающий токсичное действие других газообразных соединений. Такая нагрузка на окружающую природную среду создает большую проблему для экологической безопасности водоотведения.

Как видно из данных табл. 2.3, соотношение биогенных элементов в газообразной фазе отличается от наблюдаемого в сточных водах. Концентрации углерода и серы по-прежнему близки, а концентрация азота существенно ниже. Кроме активности микробиологического метаболизма в жидкой фазе на содержание элементов в газообразной фазе влияет также активность элюирования газообразных соединений из жидкости в подсводовое пространство, которая зависит от растворимости этих соединений в физико-химических условиях, характерных для коллектора и турбулентности движения сточных вод. Газообразная фаза, формируемая продуктами жизнедеятельности микробиоценозов жидкой фазы, в отличие от сточных вод коррозионно опасна для бетона. На некоторых участках коллекторов по концентрации сероводорода и углекислого газа она классифицируется как слабоагрессивная и агрессивная. В экосистеме коллектора газообразную фазу можно рассматривать как связующее звено между микробиоценозами жидкой и твердой фаз, среду для транзита главных биогенных элементов из сточных вод к бетону свода сооружений.

Растворение газообразных серо-, углерод- и азотсодержащих соединений и продуктов их химического окисления в пленочной конденсатной влаге на поверхности сводовой части коллектора приводит к их взаимодействию с компонентами бетона. При этом происходит абиогенное подкисление пленочной конденсатной влаги. Ведущую роль в подкислении играет  $\text{CO}_2$ . В подсводовой атмосфере концентрация  $\text{CO}_2$  сравнима с концентрацией  $\text{SO}_2$ . Образующая этим соединением сернистая кислота имеет константу диссоциации на два порядка выше константы диссоциации угольной кислоты, образуемой при растворении  $\text{CO}_2$ . Вероятно,  $\text{SO}_2$  играет по крайней мере не менее значимую, чем  $\text{CO}_2$ , роль в снижении pH пленочной конденсатной влаги на сводовой части канализационных трубопроводов.

Однако намного более масштабным и значимым для конструкций трубопроводов является другой результат растворения газообразных соединений подсводового пространства в конденсатной влаге на своде - инициация микробиологических процессов окислительного метаболизма с образованием кислых неорганических продуктов. Учитывая химический состав газовой фазы, наиболее коррозионно-агрессивные для бетона соединения – неорганические кислоты могут образоваться в следующих хемолитотрофных процессах:

- окислении восстановленных соединений серы (сероводорода, оксидов серы, меркаптанов и др.) серными и тионовыми бактериями до серной кислоты;
- окислении аммония и оксидов азота бактериями-нитрификаторами с образованием азотистой и азотной кислот;

- окислении водорода и оксида углерода до угольной кислоты карбоксидобактериями.

На своде трубопровода в окислительном метаболизме органических субстратов хемоорганотрофными (гетеротрофными) бактериями может также продуцироваться некоторое количество органических кислот.

В результате всех этих процессов на поверхности бетона образуется многокомпонентная чрезвычайно коррозионно-агрессивная реакционная смесь с низким значением pH, которая активно взаимодействует с компонентами бетона (главным образом с цементными гидратами). Воздействие продуктов метаболизма этого микробиоценоза на бетон включает несколько реакций, среди которых наиболее значимыми для долговечности и надежности конструкций трубопроводов являются следующие:

- нейтрализация гидроксидов, карбонатов и накопление в среде протонов, снижение pH бетона до значений менее 1;
- выщелачивание катионов из твердой фазы (главным образом кальция, магния, железа и алюминия) в виде растворимых соединений – нитратов, бикарбонатов, сульфатов, органических солей и комплексных соединений;
- образование химических соединений (минералов) с более низкими прочностными характеристиками, чем исходный бетон, и минералов, вызывающих при расширении механические повреждения бетона;
- кардинальная трансформация структуры бетона.

Химический состав пленочной конденсатной влаги, формируемой в результате взаимодействия микробных метаболитов с бетоном, варьирует в зависимости от глубины поражения бетона коррозионным процессом (табл. 2.5). При оценке агрессивности этой эксплуатационной среды необходимо учитывать не только ее кислотность, но и солесодержание, которое зависит от pH среды. На начальных этапах, когда pH бетона  $> 10$ , солесодержание конденсатной влаги составляет 1-2 г/дм<sup>3</sup>. При дальнейшем развитии ассоциации тиабацилл и разрушении бетона концентрация солей (преимущественно сульфатов) в конденсатной влаге возрастает и при pH бетона  $< 2$  она превышает 60 г/дм<sup>3</sup>. Согласно СНиП 2.03.11-85 среды с такими характеристиками солесодержания являются сильноагрессивными по отношению к бетону.

Часть серо-, азот- и углеродсодержащих продуктов взаимодействия микробных метаболитов с компонентами бетона (сульфаты, нитраты, карбонаты и др.) растворяется в пленочной конденсатной влаге и по поверхности свода стекает в сточные воды (исходную жидкую фазу), замыкая цепи миграций углерода, серы и азота в экосистеме коллектора в циклы (рис. 2.3).

В целом коррозионное разрушение бетона сводовой части канализационных сетей и сооружений на них обусловлено воздействием двух агрессивных эксплуатационных сред: газообразной, но главным образом жидкой – пленочной конденсатной влаги, сформированных в основном продуктами микробного метаболизма.

**Таблица 2.5 – Химические характеристики пленочной конденсатной влаги**

<b>рН бетона</b>	<b>РН пленочной конденсатной влаги</b>	<b>Солесодержание (расчетное по контролируемым ионам), г/дм<sup>3</sup></b>	<b>ХПК, г/дм<sup>3</sup></b>
12,3	12,8	1,0-2,0	0
8,6	7,0	10,0-20,0	0,1
4,2	2,8	30,0-40,0	0,9
1,5	0,5	60,0-70,0	1,5

На первых этапах процесса это приводит к частичному разрушению трубопровода, при котором токсичные газообразные соединения начинают поступать в окружающее трубопровод подземное пространство, создавая угрозу функционированию других коммуникаций этой среды. Продукты разрушения свода попадают в сточные воды, дополнительно загрязняя их, а при дальнейшем развитии коррозионного процесса свод обрушивается со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями для городского хозяйства.

Исследования экосистемы коллекторов, механизмов ее стабильности и особенностей функционирования позволяют выявить управляющие воздействия и обоснованно разрабатывать мероприятия по снижению активности коррозионных процессов, которые можно реализовать и при новом строительстве, и при эксплуатации уже действующих трубопроводов. Комплексный анализ миграции биогенных элементов в экосистеме коллекторов свидетельствует, что биогеохимические трансформации бетона в сооружениях водоотведения, а следовательно, и техногенная безопасность этих сооружений обусловлены микробиологическими превращениями (главным образом хемосинтеза) на своде коллектора трех биогенных элементов - углерода, серы и азота, но преимущественно аэробным хемосинтезом экстремально ацидофильных тионовых бактерий. Реакции на своде трубопроводов можно рассматривать как этапы специфических трофических циклов этих элементов, связывающих жидкую, газообразную и твердую фазы сооружений водоотведения в единую экосистему техногенного происхождения.

## **2.3.4. Борьба с микробиологической коррозией бетона сетей водоотведения, вызываемой ацидофильными тиобациллами**

Защита бетона канализационных коллекторов является обязательным условием долговечности и эксплуатационной надежности этих сооружений, их экологической безопасности. Масштаб процессов коррозионного разрушения канализационных коллекторов, его экономический (около 2 % валового национального продукта) и экологический ущерб требуют масштабных решений проблемы их долговечности и надежности на этапах проектирования, строительства и эксплуатации. К сожалению, предпринимаемые до настоящего времени меры как на этапах проектирования, строительства, так и на стадии эксплуатации сооружений не дают ощутимых результатов. Кроме того, в практике строительства канализационных трубопроводов при оценке агрессивности воздействующих на эти конструкции эксплуатационных сред не учитывается активность биогенной сернокислотной агрессии. В некоторых стандартах стран СНГ по проектированию наружных канализационных сетей внесен ряд новых положений, связанных с микробиологической коррозией в этих объектах.

Особенности канализационных трубопроводов и специфика эксплуатационной среды не позволяют механически перенести на них известные противокоррозионные защитные мероприятия, хорошо зарекомендовавшие себя на других объектах техносферы.

Способы предотвращения коррозии канализационных коллекторов можно разделить в соответствии с тремя стадиями в генезисе биогенной сульфатной агрессии (образование сероводорода, элюирование его в подсводовое пространство и окисление до серной кислоты) на три группы [4]:

- предотвращение или сведение к минимуму образования сероводорода в транспортируемых сточных водах;
- предотвращение элюирования сероводорода в атмосферу канализационных сетей;
- предотвращение микробиологической коррозии на свode минимизацией микробиологического окисления восстановленных соединений серы в  $H_2SO_4$ ;
- использование кислотостойких марок бетона, защита бетона различными пропитками, органическими и неорганическими покрытиями, в том числе содержащими биоциды.

Использование биоцидов – бактериостатических или бактерицидных веществ, которые положительно зарекомендовали себя в водоподготовке, агрохимии, санации помещений и т.п., для борьбы с коррозией бетона в сетях водоотведения многим авторам представляется довольно заманчивым и перспективным, поскольку причиной коррозии является жизнедеятельность микроорганизмов. Но как показали исследования, выполненные в УГНИИ УкрВОДГЕО, иммобилизованная на бетоне ассоциация тиобацилл обладает

очень высокой (на 1-3 порядка выше по сравнению с сапрофитами) резистентностью к воздействию химических биоцидов: катионактивных и амфолитных СПАВ, коммерческих биоцидов (метацита, «Полисепта»), неорганических биоцидов ( $\text{NaF}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ), а также к специфическому ингибитору хемосинтеза «Пиразолу». Совместное использование биоцидов различной химической природы (СПАВ и «Полисепта») эффект ингибирования не усиливает. Аналогично высокой, по сравнению с сапрофитами, является и устойчивость иммобилизованной ассоциации тионовых бактерий к физическому биоцидному воздействию – импульсному ультрафиолетовому излучению широкого спектра.

Необходимость многократной интенсификации биоцидного воздействия для подавления развития тиабацилл отрицательно отражается не только на экономических показателях физических и химических методов ингибирования микробиологической коррозии в сетях, но и при использовании химических биоцидов создает угрозу для эксплуатационной надежности биологических очистных сооружений, куда транспортируются сточные воды. Даже при введении биоцидов в покрытия или в бетон их ингибирующее действие может осуществиться только при выщелачивании (выходе) из твердых субстратов. В результате выщелачивания биоциды неизбежно попадут в экосистему коллекторов, а следовательно, и в сточные воды, транспортируемые на биологические очистные сооружения. Таким образом, использовать химические биоциды общего бактерицидного действия для борьбы с микробиологической коррозией в сетях водоотведения может крайне ограничено.

### **2.3.5. Защита конструкций в сетях водоотведения полимерными материалами**

Полимерные материалы на объектах водоотведения используются для:

- 1) труб водоводов, коллекторов и других конструктивов;
- 2) санации трубопроводов, коллекторов и других конструктивов;
- 3) напыления на конструкции при ремонтно-строительных работах;
- 4) защиты оборудования технологических устройств, оснащения и др. от воздействия коррозионно-агрессивных сред путем:
  - крепления полиэтиленовых листов к стене;
  - ремонта и изоляции поверхности с использованием блочной опалубки;
  - установки цельносекционных железобетонных блоков, покрытых ребристыми полиэтиленовыми листами.



### 2.3.5.1. Устойчивость полимерных соединений к микробиологической коррозии

Полимерные материалы, являясь органическими соединениями, способны подвергаться биологическому разрушению, прежде всего плесневыми грибами. Но повреждение изделий из пластических масс, вызываемое плесневыми грибами, обычно не такое интенсивное, как повреждение изделий из органических природных материалов. Только в некоторых случаях, особенно при использовании неустойчивых примесей, обильное развитие плесени вызывает значительные изменение свойств пластических масс.

Активность развития плесени и ее воздействия на полимерный субстрат зависит от влажности окружающей среды. Конденсация и скопление влаги на поверхности материала способствуют росту этой культуры. Некоторые пластические массы уже под влиянием только повышенной влажности значительно изменяют свои свойства.

Повреждение материалов плесневыми грибами происходит как в результате механического разрушения разрастающимся мицелием, так и за счет воздействия на полимеры различных продуктов метаболизма грибов, в первую очередь органических кислот и экзоферментов. Эти соединения вызывают химическую коррозию пластиков, которая приводит к снижению у материала предела прочности при растяжении, гибкости и т.д.

Различные виды грибов, встречающихся на полимерных материалах, выделяют в качестве продуктов своей жизнедеятельности целый комплекс органических кислот: щавелевую, фумаровую, янтарную, яблочную, малоновую, лимонную, винную, молочную. В зависимости от продуцируемых кислот все плесневые грибы можно разделить на три группы: 1) грибы, выделяющие в среду относительно большое количество органических кислот, - *Penicillium chrisogenum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*; 2) грибы, продуцирующие небольшое количество кислот – к ним относится большинство других видов родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*; 3) грибы, выделяющие в среду ничтожно малое количество кислот, - *Mucor* sp., *M. tenuis*. Органические кислоты, синтезируемые грибами, которые развиваются на полимерных материалах, играют двойную роль: с одной стороны, действуют на пластмассы как агрессивные среды; с другой, являясь неполным продуктом окисления углеводов, служат источником углерода для дальнейшего развития микроорганизмов.

Устойчивость полимерных материалов с различным химическим строением к действию органических кислот, которые могут выделяться плесневыми грибами, неодинаковая. Наиболее устойчив в этом отношении полиэтилен, менее стойким является поливинилхлорид.

Наряду с органическими кислотами важным фактором биоповреждений полимерных материалов являются выделяемые грибами ферменты, особенно оксидоредуктазы (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза) и эстеразы (фосфатазы, липазы). Разрушение пластмасс под воздействием микроорганизмов наступает в результате различных реакций – окисления, восстановления, декарбоксилирования, этерификации, гидролиза и др. При этом наблюдается

корреляция между поражаемой категорией материала и ферментативными свойствами присутствующей в ней микрофлоры. Так, разрушители резины и битумов являются в основном продуцентами липазы, разрушители комбинированных строительных материалов – продуцентами дегидрогеназ, каталазы и пероксидазы и др.

Благодаря проводимости, свойственной пластическим массам, иммобилизованные на их поверхности микроорганизмы повышают электропроводность материала и уменьшает его сопротивление действию ползучих электрических токов. Аккумулируя механические загрязнения из воздуха, колонии плесени значительно влияют на свойства материала и делают его питательным субстратом для роста других микроорганизмов.

Обычно пластмассовые материалы поражаются ассоциациями плесневых грибов, принадлежащих к нескольким видам. Так, из двух пластиков – бакелита и поливинилхлорида – было выделено 24 вида плесневых родов, в том числе *Aspergillus chevalieri* и *Penicillium chrysogenum*.

Установлено, что некоторые компоненты пластических масс (например, хорошо пластифицированный поливинилхлорид) практически полностью устойчивы к действию плесеней, другие (полиэтилен) обнаруживают удовлетворительную устойчивость. Пресспорошки с органическим наполнителем оказываются заметно поврежденными при развитии плесени.

Особенности развития плесеней в пластмассе до сих пор изучены мало. Однако очевидно, что динамика их роста зависит как от химического строения материала, так и от его физической структуры. Мицелий плесени может использовать для своего развития очень тонкие трещины и поры материала, образующиеся на стыке между самой пластмассой и частицами примесей. Поэтому резистентности к грибной коррозии полимера недостаточно для появления резистентности и у наполнителя. Среди известных композиций пластмасс плесневые культуры в наибольшей степени предпочитают развиваться на пластиках в соединении с текстилем. Влияние физической структуры пластмасс на поражаемость грибными культурами проявляется, например, в том, что поливинилхлорид устойчив к плесневению, а его эмульсия поражается плесенью.

Если низкомолекулярные примеси (пластификаторы, стабилизаторы) растворимы в пластической массе и могут служить питательным субстратом для плесеней, то большее влияние на динамику роста грибной культуры оказывают физико-химические свойства материала, а не его физическая структура. Пластификаторы могут находиться в пластических массах также в виде очень тонких (молекулярных) дисперсий в основной массе полимера. Благодаря миграции молекул низкомолекулярного вещества в массу полимера значительная часть этого вещества находится в соприкосновении с мицелием и может поглощаться грибом.

Таким образом, чувствительность пластических масс к плесневению зависит от свойств компонентов, содержащихся в этих материалах.

### *Резистентность к плесневению чистых смол*

Под чистыми синтетическими смолами понимают собственно высокомолекулярные вещества, представляющие собой основные составные части пластических масс. Известно, что наполнители и добавки в большой мере изменяют степень устойчивости пластических масс к плесневению. Иногда устойчивость пластических масс уменьшается, например, при использовании несоответствующих пластификаторов или плесневеющих наполнителей, а иногда возрастает (в случае устойчивых пластификаторов).

Как видно из табл. 2.6, степень устойчивости пластических масс к плесневению зависит от вида питательной среды. Среди испытанных полимеров (на комплексной питательной среде с сахарозой и в среде без нее) фунгицидным действием обладала только мочевино-формальдегидная смола. На других полимерах в комплексной питательной среде с сахарозой грибная культура развивалась с большей или меньшей активностью. Однако, если питательная среда не содержала сахарозы, то культура *Aspergillus niger* могла развиваться только на таких полимерах, как нитрат целлюлозы, поливинилацетат, феноло-формальдегидной и меламиновой смолах. Другие пластические массы проявили фунгистатические свойства. Поэтому предполагается, что основной причиной плесневения пластических масс являются посторонние вещества, а не полимер.

### *Устойчивость к плесневению пластификаторов*

В пластических массах часто применяют очень большие концентрации пластификаторов. Их природа в большой степени определяет устойчивость изделия к плесневению.

**Таблица 2.6 – Развитие плесневой культуры на различных полимерах**

Чистый полимер	Рост <i>Aspergillus niger</i>	
	на комплексной питательной среде	на питательной среде без сахарозы
Ацетат целлюлозы	1	0
Ацетат-бутират целлюлозы	1	0
Ацетат-пропионат целлюлозы	2	0
Нитрат целлюлозы	2	2
Этилцеллюлоза	2	0
Полиэтилен	1	0
Полиметилметакрилат	1	0
Полистирол	2	0
Поливинилацетат	3	2
Поливинилхлорид	2	0
Поливинилацетатхлорид VYNW	1	0
Поливинилацетатхлорид VYHH	2	0
Меламино-формальдегидная смола	3	1
Мочевино-формальдегидная смола	0	0
Феноло-формальдегидная смола	2	1

*Примечание:* 0 – рост отсутствует; 1 – рост незначительный; 2 – рост удовлетворительный; 3 –рост обильный.

Многие пластификаторы не плесневеют при испытании на питательных средах без сахаров. Это свидетельствует о том, что сами они не могут служить питательным субстратом для плесневых грибов. Но все пластификаторы поражаются плесенью в присутствии сред, содержащих сахара, что говорит об отсутствии у них фунгицидных свойств.

Известны пластификаторы, обладающие наименьшей резистентностью к плесневению, выражающейся в активном развитии на них грибковых культур, даже при использовании питательной среды без сахарозы. Например, рицинолеаты в большой степени неустойчивы к плесневению. Эти общепринятые пластификаторы не следует использовать на объектах, где вероятность поражения плесенью большая. Низкую резистентность к развитию грибковых культур имеют стеараты и себацинаты. А малеинаты, фталаты и фосфаты устойчивы к плесневению.

Связь между степенью поражения пластификатора плесенью и его химическим строением еще полностью не выяснена. Только внутри некоторых групп пластификаторов установлены определенные зависимости, которые можно сформулировать следующим образом:

- 1) диэфиры предельных алифатических дикарбоновых кислот, содержащие 12 и более атомов углерода, легко поглощаются плеснями;
- 2) с увеличением молекулярного веса у 1-метиладипатов и n-алкиладипатов снижается устойчивость к плесневению, причем в таком порядке:  
метил- > этил- > n-пропил- > 1-метилэтил- > n-бутил- > n-амил- > 1-метилбутил-> n-гексил-> 1-метилгептилпроизводные;
- 3) многоатомные спирты легко поглощаются плеснями, если только имеются гидроксильные группы у соседних или у крайних атомов углерода. Например, бутандиол-2,3 и бутандиол-1,4 плесневеют сильнее, чем бутандиол-1,3. Подобным образом пентандиол-1,5 плесневевает больше, чем пентандиол-2,4. Этерификация спиртов значительно повышает устойчивость соединений к плесневению;
- 4) устойчивость к плесневению производных пентаэритрита уменьшается в зависимости от характера производного от 0 до 3. Однако разобраться в количественной связи устойчивости к плесневению со строением трудно. Результаты, полученные разными авторами, по существу полностью совпадают, только в отдельных случаях имеются расхождения, которые можно объяснить различиями в методах и условиях испытания, а также происхождением соединений.

#### *Влияние наполнителей на устойчивость к плесневению пластических масс*

Наполнители оказывают большое влияние на устойчивость пластических масс к плесневению. С органическими наполнителями (например, гетинакс, пресспорошки с древесной мукой, текстильными обрезками) пластические массы плесневеют, как правило, больше, чем с неорганическими (например, стек -

лопластики, пресспорошки с асбестовой мукой, кварцем, стекловолокном и др.). Аналогичная картина наблюдается среди пластических масс, нанесенных на текстиль или другой носитель. Естественно, что устойчивость к плесневению материалов с такой структурой зависит от устойчивости основного компонента – связующего вещества и от добавок, например, пластификаторов. В отдельных случаях наполнитель полностью защищен связующим от плесневения. Например, некоторые прессованные изделия обладают высокой устойчивостью к плесневению. При этом большое влияние на резистентность пластмассы к развитию грибковой культуры оказывают способ приготовления прессовочной смеси, параметры процесса, а также полнота пропитки волокнистого наполнителя смолой.

При изготовлении наполненных пластических масс, устойчивых к плесневению, следует руководствоваться такими правилами:

- использовать предпочтительно минеральные наполнители (в сочетании с устойчивыми к плесневению пластическими массами);
- применять просушивание для хорошего пропитывания связующим;
- добиваться, чтобы прессованные изделия и детали для сборки из слоистых пластических масс не имели поверхностей, где наполнитель выступал бы наружу (например, поверхность разреза). Такие поверхности нужно защищать соответствующим красочным покрытием.

Методы количественной оценки устойчивости пластических масс и изделий из них к грибной коррозии разрабатывали многие авторы. В настоящее время такие методики приведены в ряде ГОСТов, а также в ДСТУ.

### **2.3.5.2. Устойчивость полимерных материалов к биогенной сернокислотной агрессии**

В условиях, формируемых на сводовой части самотечных канализационных коллекторов, активное развитие грибковой микрофлоры является маловероятным. Главным фактором, ингибирующим развитие плесеней, служит высокая кислотность среды, создаваемая серной кислотой, которую продуцируют тиобациллы. Устойчивость полимерных материалов к действию соединений, выделяемых бактериями именно этой эколого-трофической группы, определяет эффективность защиты бетона полимерными покрытиями.

В настоящее время спектр полимерных покрытий, предлагаемых различными фирмами и разработчиками для защиты бетона, очень широкий. В основном это гидроизоляционные покрытия отечественного и зарубежного производства, которые проявили высокий положительный эффект на различных технических объектах.

Эффективность различных полимерных покрытий бетона в защите его от биогенной сернокислотной агрессии определяли в натурных условиях. Образцы бетона (4х4х16 см), покрытые различными коммерческими гидроизоляционными составами, в сетках подвешивали к своду самотечного коллектора. Контрольные варианты покрытых образцов бетона находились в лаборатории. В сетку помеща-

ли также незащищенные бетонные балочки для оценки степени агрессивности среды на данном участке сетей водоотведения (табл. 2.7).

После окончания экспозиции контрольные и опытные образцы исследовали с помощью металлоксидного электрода, контролируя следующие показатели:

- pH пленочной влаги на поверхности;
- pH бетона под покрытием;
- pH бетона на участках разрыва покрытия.

Таблица 2.7 – Эффективность защитных покрытий бетона в условиях биогенной сернокислотной агрессии (115 дней экспозиции)

Коммерческое гидроизоляционное покрытие	Вариант	Количество слоев	Разрушение покрытия	РН бетона под покрытием
1	2	3	4	5
Бетон без защитного покрытия		-	-	(2,3-3,1)
Полиэфирные соединения	Контроль	1		9,7
	Опыт	1	+	2,7
	Опыт	3	-	6,0
	Контроль	5	-	9,2
	Опыт	5	-	4,7
	Опыт	8	-	7,4
	Контроль	10	-	5,9
	Опыт	10	-	7,4
Композиция на основе эпоксидной смолы	Бетон под неповрежденным покрытием		-	9,9
	бетон под покрытием, изменившим цвет		-	7,1
Эпоксидная композиция (СНиП 11-28-73)	Бетон под неповрежденным и участками покрытия		+	7,9
	Бетон под разрушенным покрытием		+	2,38
Эпоксидная композиция (СНиП 11-28-73) с амиромол М	Бетон под покрытием		+	7,9
Полиэтилен ПЭНД	Контроль		-	12,3
	Опыт		-	12,3

Продолжение табл. 2.7

1	2	3	4	5
Полиэтилен (вторичный) ПЭНД	Контроль		-	12,3
	Опыт		-	12,3
Пропитка крем- нийорганическим лаком ВВ7	Контроль		-	6,89 (пов-ть), 9,8 (глуб 5мм)
	Опыт		-	5,08 (пов-ть), 6,8 (глуб. 5мм)
Кольматирующая смесь на основе цемента	Контроль		+	10,2-11,7 (покрытие тол- щиной 6-8мм)
	Опыт			7,2-9,6 (покрытие тол- щиной 6-8мм)

РН бетона и покрытий определяли, выполняя не менее 10 измерений на контролируемом участке образца. Оценка эффективности покрытия основывалась на следующих характеристиках сернокислотной коррозии бетона:

- нейтрализации цементных гидратов;
- образовании соединений, имеющих более высокий коэффициент расширения.

Кислоты – продукты метаболизма тиобацилл, диффундируя через покрытия, взаимодействуют с бетоном с образованием минералов, которые, расширяясь, разрывают покрытие изнутри (рис 2.4, 2.5). Использование специального металлоксидного электрода позволяет количественно определить эффективность защиты бетона от биогенной сернокислотной агрессии различными покрытиями еще до возникновения каких-либо визуально заметных повреждений. Оценка изоляционных свойств покрытия основывается на сравнении значений рН бетона непосредственно под покрытием в контрольном (не находившимся в условиях биогенной сернокислотной агрессии) и опытном образцах. Подкисление бетона в опытных образцах свидетельствует о том, что кислоты, образуемые тиобациллами, диффундируют через покрытие и взаимодействуют с бетоном. Следовательно, разрыв покрытия продуктами коррозии бетона неизбежен.

Количественно оценить эффективность защиты бетона покрытием можно с помощью формулы

$$\Xi = \frac{[H_p^+] - [H_o^+]}{[H_p^+] - [H_k^+]} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где  $\Xi$  — эффективность защиты, %;

$[H_k^+]$  — концентрация  $H^+$  в бетоне непосредственно под покрытием в контрольном образце, г-экв/дм<sup>3</sup>;



**Рис. 2.4** — Образцы бетона, покрытые эпоксидной композицией (СНиП 11-28-73), после 115 дней экспозиции на своде коллектора (слева – покрытие без биоцида, справа – с биоцидом)



**Рис. 2.5** — Образцы бетона, покрытые одним слоем состава №1 (слева — опытный образец после 115 дней экспозиции на своде коллектора, справа – контроль)



$[H_o^+]$  — концентрация  $H^+$  в бетоне непосредственно под покрытием в опытном образце, после экспозиции в течение  $t$  суток, г-экв/дм<sup>3</sup>;

$[H_p^+]$  — концентрация  $H^+$  в корродирующем бетоне, который разрывает покрытие, г-экв/дм<sup>3</sup>.

Покрытие из эпоксидной композиции, рекомендуемой СНИП 11-28-73 для защиты канализационных коллекторов от коррозии (ЭД-20: ПЭПА:ДБФ = 100:12:30 массовых частей), после 3,5 месяцев экспозиции имело большое количество повреждений в виде свищей и разрывов на ребрах образцов (рис.2.4). Образованные в результате взаимодействия серной кислоты и компонентов бетона минералы, расширяясь, изъязвляли и разрывали покрытие изнутри.

Следует отметить, что при введении в эпоксидную композицию биоцидных соединений (амфолитных СПАВ) процесс коррозии покрытия заметно тормозился (рис. 2.4). Это подтверждает микробиологическую природу коррозионного процесса и возможность ингибирования его с помощью биоцидов. Но концентрации биоцидов в покрытии, необходимые для эффективного подавления жизнедеятельности бацилл-продуцентов серной кислоты, делают их использование в таких крупномасштабных сооружениях, как сети водоотведения проблематичным и по экономическим, и по экологическим показателям.

РН бетона под участками сохранившегося покрытия составляет 3,0-4,5. По-видимому, при этом значении рН происходят наиболее интенсивное расширение продуктов коррозии и разрыв противокоррозионного покрытия. Исходя из этого значения рН, данных рис. 2.6 и значений рН бетона образцов с полностью разрушенным покрытием после экспозиции на данном участке, можно ориентировочно установить срок начала разрушения покрытия, а следовательно, его долговечность.

Если покрытие допускает диффузию серной кислоты, то рН бетона под покрытием в опытных образцах снижается. Ориентировочный срок до наступления разрыва покрытия можно рассчитать на основании определения скорости подкисления бетона под покрытием и сравнения ее с данными, полученными при испытании образцов незащищенного бетона в канализационном коллекторе (рис. 2.6, формула 2.2)

$$t = \frac{V}{V_o} \cdot 45, \quad (2.2)$$

где  $t$  — ориентировочный срок эксплуатации покрытия, сут;

$V$  — скорость накопления протонов в конденсатной влаге на поверхности незащищенного бетона в том же диапазоне изменения значений рН, что и в опытном образце;

$V_o$  — скорость накопления протонов в бетоне под испытываемым покрытием, г-экв/дм<sup>3</sup>·сут;

45 — продолжительность экспозиции, необходимая для достижения рН 3,5 в эксперименте с незащищенным бетоном (рис. 2.6), сут.



**Рис. 2.6** - Влияние продолжительности экспозиции на pH поверхности бетона

Испытанные коммерческие гидроизоляционные покрытия и пропитки (табл. 2.7), которые хорошо зарекомендовали себя на различных объектах, активно разрушаются при использовании их для защиты бетона, находящегося в условиях биогенной сернокислотной агрессии. Из данных исследования бетона под покрытиями после экспозиции видно, что они допускают диффузию серной кислоты. Единственным покрытием, под которым бетон не изменил pH даже после экспозиции в течение 1 года, был полиэтилен, причем как первичный, так и вторичный.

Установление причин разрушения полимерных покрытий бетона в условиях биогенной сернокислотной агрессии имеет большое практическое и научное значение, поскольку позволяет обоснованно выбирать материалы для защиты бетона.

Можно предположить, что в таких покрытиях, как эпоксидные композиции диффузия серной кислоты происходит через полярные соединения. Но поскольку эта диффузия наблюдается и при использовании неполярных полимерных гидроизоляционных покрытий, вероятно, что этой диффузии способствует какое-то малополярное соединение, образуемое тиобациллами, например, фосфолипиды. Образование фосфолипидов тиобациллами отмечается как положительный фактор в гидрометаллургических процессах - выщелачивании ими металлов из руд.

В образцах бетона, в различной степени пораженных биогенной сернокислотной агрессией, установлено наличие органического фосфора и жироподобных соединений (извлекаемых в вытяжку хлороформом) (табл. 2.8).

**Таблица 2.8 – Образование тиобациллами органических соединений при коррозии бетона**

<b>рН бетона</b>	<b>Концентрация фосфора органических соединений, мг/г</b>	<b>Концентрация жироподобных соединений, мг/г</b>	<b>Концентрация органического углерода, мг/г</b>
3,4	0,028	1,40	1,5
6,0	0,039	0,34	1,0
8,4	0,080	0,10	0,8
9,7	0,078	0	0,5
10,4	0	0	0,2
12,5	0	0	0

Чем ниже рН бетона (глубже коррозионное поражение), тем выше концентрация в нем жироподобных соединений (аналогично динамике органического углерода). Концентрация органического фосфора в зависимости от рН корродирующего бетона изменяется по параболической зависимости: при снижении рН от 12,4 до 9,7-8,4 она повышается, а при дальнейшем подкислении среды снижается. Это обусловлено, вероятно, повышением растворимости его соединений при снижении рН и выщелачиванием фосфолипидов из бетона, которое превышает продуцирование этих соединений тиобациллами. Детальный анализ органических соединений, образуемых ассоциацией тиобацилл – возбудителей коррозии бетона, проводили с помощью хроматомасс-спектрометра. В продуктах метаболизма ассоциации, извлекаемых метанолом, этилацетатом и хлороформом, идентифицировали спирты (С больше 9), эфиры фталевой кислоты и парафины.

Эффективную защиту бетона от биогенной сернокислотной агрессии может обеспечить только то покрытие, которое не допустит диффузию серной кислоты, в том числе в смеси с жироподобными соединениями.

Как известно, полиэтилен обладает высокой устойчивостью к воздействию серной кислоты и не растворяется в жироподобных соединениях. Поэтому он является наиболее перспективным материалом для использования в качестве защитного покрытия бетонных и металлических конструкций сетей водоотведения. Экономические показатели такого противокоррозионного мероприятия даже в огромных масштабах канализационного хозяйства городов имеют положительную перспективу, тем более что для защиты от биогенной сернокислотной агрессии может использоваться вторичный полиэтилен из отходов.

Для испытания устойчивости полиэтилена к биогенной сернокислотной агрессии и установления предельных сроков его эксплуатации в данной среде проводили эксперименты в лабораторных и производственных условиях. Лабораторные испытания выполняли двумя путями:

- при экспозиции образцов полиэтилена в растворе, моделирующем химический состав эксплуатационной среды – конденсатной влаги на своде коллекторов;

- при экспозиции образцов полиэтилена в жидкой накопительной культуре тионовых бактерий, выделенных из прокорродировавшего бетона сетей водоотведения. Такая методика позволяет моделировать ситуацию, складывающуюся на своде после 3-5 лет эксплуатации, когда концентрация тиобацилл в бетоне достигает максимальных значений.

После двух лет экспозиции в этих средах в образцах бетона не были отмечены нарушения структуры материала, его прочности и цвета.

Для испытания устойчивости полиэтиленовых покрытий к биогенной сернокислотной агрессии в натурных условиях канализационного коллектора образцы покрытий подвешивали на своде. После трех лет экспозиции никакие повреждения в покрытиях обнаружены не были.

### **2.3.5.3. Практический опыт использования полимерных покрытий для защиты бетона от биогенной сернокислотной агрессии в сетях водоотведения**

Термопластичные полимерные материалы имеют низкие адгезионные свойства, что усложняет технологию их применения. Чтобы повысить прочность крепления полимерных материалов к основе, прибегают к дублированию стеклотканью, байкой и др.

Донецким ПромстройНИИпроектom разработан прогрессивный способ крепления полимерных материалов на поверхности железобетонных конструкций путем механического заанкеривания в бетоне заготовок из материала, гладкого с одной стороны и ребристого с другой.

Полиэтилен с анкерными ребрами предназначен для защиты внутренних поверхностей железобетонных конструкций емкостей, эксплуатирующихся в жидких агрессивных средах, железобетонных емкостей подземных сооружений, стеновых панелей, лотков для отвода промышленных агрессивных стоков, для гидроизоляции железобетонных напорных труб и водоводов (рис. 2.7).

В Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры разработан способ ремонта и восстановления шахтных стволов путем устройства защитного покрытия из ребристой полиэтиленовой пленки. С применением этого материала в ГКП "Харьковкоммуночиствод" выполнены работы по защите от микробиологической сернокислотной агрессии канализационных шахт и трубопроводов (рис. 2.7-2.10).

Известно, что профилированная полиэтиленовая пленка (листы) применяется в Украине и за рубежом в качестве гидроизоляционного покрытия подземных конструкций или коррозионностойкого покрытия в напорных канализационных трубах. Эти защитные покрытия работают на прижим.



**Рис. 2.7** — Использование полиэтиленового листа с анкерными ребрами для защиты бетонной плиты



**Рис. 2.8** — Канализационная труба из полиэтилена





**Рис. 2.9** — Использование полиэтиленовых листов для защиты бетона (ремонт шахт)



**Рис. 2.10** — Лотковая часть канализационных трубопроводов, защищенная полиэтиленовым листом

В восстановленной железобетонной обделке заанкеренная в бетон профилированная пленка конструктивно является гидроизоляционной и коррозионностойкой облицовкой шахтной обделки, работающей под воздействием гидростатического давления на отрыв.

При первой степени разрушения железобетонной обделки смотровых колодцев и шахтных стволов защитный слой бетона не полностью разрушается коррозией. В этом случае основное назначение полиэтиленового покрытия – изолировать поверхность обделки от дальнейшего разрушительного воздействия агрессивной сернокислотной среды, для чего используется только коррозиестойкое покрытие гладкой полиэтиленовой пленкой, которая крепится к бетонной поверхности пристрелкой. Последовательность производства работ следующая: очистка и выравнивание бетонной поверхности, монтажная прихватка вертикальных, заведенных внахлест пленок, прижатие их к бетону металлическими оцинкованными шинами или жесткими пластиковыми полосами, изоляция крепежа приваренной полиэтиленовой лентой и, наконец, контроль качества сварочных работ.

Ремонт и восстановление обделок, имеющих вторую степень повреждения (с разрушенным бетонным слоем и арматурой) защищают бетонным слоем и полиэтиленовым покрытием обнаженную арматуру (полки двутавровых балок) от воздействия агрессивной газовой среды. Для этих работ используют монолитный бетон, что создает необходимые технологические условия для одновременного устройства антикоррозионного покрытия из ребристого полиэтиленового листа. Покрытие заанкеривается в укладываемом слое бетона, чем исключается механическое крепление листа к бетону. Монолитный бетон восстанавливает защиту оголенной арматуры и одновременно защищает всю площадь поверхности коррозиестойким ребристым полиэтиленовым покрытием, прочно удерживая его при твердении.

Обделки колодцев шахтных стволов канализационных коллекторов, которые разрушены агрессивной газовой средой на глубину 100 мм и более, с уменьшением размеров площади поперечного сечения жесткой арматуры (двутавровых балок) считаются статистически неустойчивыми к воздействию внешних нагрузок, т.е. находятся в аварийном состоянии. Такие разрушения относят к последней, третьей степени. В этом случае используется армонесущая сборная железобетонная конструкция из цельносекционных элементов, имеющих заводское коррозиестойкое покрытие из ребристого полиэтилена. Из ребристых полиэтиленовых листов сваривают рукава с продольным расположением анкерных ребер. Затем рукава разрезают на отрезки (кольца) шириной, равной высоте цельносекционной обделки.

На внутреннюю опалубку (сердечник) надевают полиэтиленовое кольцо и, раздвигая до проектного размера опалубку, натягивают полиэтиленовое покрытие. Затем устанавливают арматурный каркас и наружную опалубку, укладывают бетонную смесь и, наконец, производят тепловую обработку в пропарочных камерах.

#### **2.3.5.4. Использование полимерных материалов для бестраншейного ремонта водопроводно-канализационных сетей**

Плотная городская застройка, насыщенная инженерными коммуникациями, усложняет проведение ремонта водопроводно-канализационных сетей традиционными методами с разрытием траншей, что разрушает почвенный слой, уничтожает зеленые насаждения, нарушает транспортные схемы города и т.п. Поэтому все большее распространение получают бестраншейные методы ремонта – восстановление водопроводно-канализационной сети без разрытий, использование существующих трубы и колодцев.

В развитых странах разработка и применение технологий санации трубопроводов этими методами берут начало с конца 70-х годов, в России – с 1993 г.

В настоящее время известно более 50 способов бестраншейного ремонта трубопроводов. Выбор конкретного метода обусловлен целым рядом параметров – диаметром ремонтируемого трубопровода, его месторасположением, интенсивностью движения транспорта, наличием подземных коммуникаций и их пересечений, плотностью застройки территорий, длиной ремонтируемого участка, характером и степенью разрушения трубопровода и др. Кроме того, большое значение имеют технико-экономические показатели принимаемых технических решений.

Наиболее распространен способ бестраншейного ремонта путем протягивания труб из полимерных материалов в реконструируемую сеть. Этот способ, в свою очередь, делится на четыре метода – метод протягивания труб, сматываемых с бухт, метод трубных плетей, метод длинных труб, метод коротких труб. Их главное достоинство – простота и дешевизна, однако первый метод пригоден только для трубопроводов малых диаметров, а второй и третий методы требуют наличия свободной территории для рытья вспомогательной траншеи или котлована.

Обязательными для санации являются промывка, очистка и телевизионная инспекция ремонтируемого трубопровода с целью выбора метода санации.

В настоящее время в Украине возможности нового строительства ограничены экономическими показателями. Поэтому предпочтение отдается наиболее дешевым методам санации.

В России фирмы, занимающиеся санированием, достигли значительных результатов по восстановлению канализационных коллекторов. Объем санации сетей канализации в Москве составляет более 30 км/год, в Санкт-Петербурге – около 50 км/год.

В г. Харькове в настоящее время в состоянии технического износа находится около 790 км канализационных коллекторов, которые эксплуатировались 30 лет и более. До 1997 г. ремонт канализационных сетей выполняли в основном открытым способом. В 2000 г. ГКП КХ «Харьковкоммуночиствод» совместно с НПФ «Экополимер» сделали плановый



ремонт 200 м канализационного коллектора путем санации сварной полиэтиленовой трубой. Работы были проведены в течение 1,5 месяцев. На выполнение этих работ открытым способом потребовалось бы 4-5 месяцев.

Полиэтиленовые трубы сваривали с помощью установки типа УСПТ-40/63 для стыковой сварки нагретым элементом. После протяжки сварной полиэтиленовой петли в колодцах было выполнено локальное инъектирование межтрубного пространства цементно-песчаным раствором. Экономия от применения цементно-песчаного раствора по сравнению с методом санации стальной трубой составила 80-85%.

Такой метод санации целесообразен в тех случаях, когда свод ремонтируемого коллектора находится в полуразрушенном состоянии и невозможно исключить протечку грунтовых вод через стыки, а также при относительно небольших глубинах залегания в грунтах, подвергающихся динамическим нагрузкам (под автодорогами, железнодорожным полотном и т.д.). Ремонт трубопроводных сетей в соответствии с названной технологией позволяет уменьшить затраты на 50-60%, при этом он эффективен в условиях плотной городской застройки.

Технология бестраншейного ремонта трубопроводов с использованием полиэтиленовых труб позволяет продолжить время эксплуатации водопроводных систем, гарантирует восстановление не только прокорродировавших стальных трубопроводов, но и трубопроводов, построенных из железобетонных, керамических, бетонных, чугунных и асбестобетонных труб, которые имеют разные дефекты (трещины, протекания в стыках, отколы, свищи и т.п.).

## **2.4. Использование полимерных материалов на сооружениях очистки сточных вод**

В настоящее время полимерные материалы широко используются не только на сооружениях водоотведения, но и на различных сооружениях очистки сточных вод. Наибольшее распространение на объектах канализации получили такие изделия из полимеров, как пористые трубчатые аэраторы. Трубчатый аэратор представляет собой перфорированную трубу из полимерного материала или перфорированную каркасную трубу, на которую надета труба из пористого полимерного материала (диспергатор). Перфорированная труба служит своеобразным каркасом для соединения аэратора с воздухораспределителем. Положительной особенностью трубчатых аэраторов является совмещение функций воздуховода с диспергатором, а также присутствие в них каналов между опорным каркасом и диспергирующим покрытием. Различные типы таких аэраторов с успехом эксплуатируются на городских очистных сооружениях Украины, стран СНГ и далекого зарубежья.

Фактическая годовая экономия электроэнергии от использования аэраторов фирмы "Экополимер" на аэротенках Диканевских и Безлюдовских комплексах

биологической очистки сточных вод г. Харькова достигает 1,7 млн. кВт/год, а по финансовым показателям – 119 тыс. грн.

Преимуществом использования трубчатых аэраторов является улучшение технологического процесса очистки, экономия электроэнергии на 15-20%, стойкость в агрессивных условиях, стойкость к гидроударам, надежность и долгий срок эксплуатации без регенерации, простота монтажа и обслуживания, отсутствие необходимости в спецоборудовании для отделения воды из воздухопроводов при плановых или аварийных остановках воздуходувок.

Опыт внедрения аэраторов показал, что благодаря их высокой эффективности значительно сокращаются эксплуатационные затраты на сооружения биоочистки. Срок окупаемости такой реконструкции составляет 1-1,5 года.

Заслуживает внимания и опыт НПО "Экополимер", впервые в Украине применившего при реконструкции биофильтров замену щебневой загрузки полиэтиленовыми и поливинилхлоридными гофрированными листами.

## **2.5. Изделия из вторичного полиэтилена в коммунальном хозяйстве**

Быстрый рост индустрии пластических материалов заметно опережает развитие инфраструктуры переработки пластмассовых отходов. Согласно статистическим данным в настоящее время в мире ежегодно накапливается до 20 млн.т отходов пластмасс. Из них 20 – 40 % по массе сжигаются, 35 – 70 % складываются на полигонах, свалках или просто закапываются в землю и только 15 – 30 % – подвергаются рециклингу.

Основной продукцией из полимерных отходов, используемой в коммунальном хозяйстве, являются погонажные изделия строительного или другого назначения (в частности трубы и профильно-погонажные изделия), корпусные изделия, а также лаки и краски.

Трубы из полимерных отходов обладают высокой антикоррозионной устойчивостью, относительно недороги, резко сокращают расход дефицитных стальных труб. Трубы безнапорные, получаемые прямой экструзией, могут применяться взамен металлических, асбоцементных или керамических для транспортирования жидких продуктов при невысоких давлениях (обычно до 0,25 Мпа), для устройств канализационных стоков, для скрытых водостоков жилых и производственных зданий, для каналов связи, при прокладке силовых и слаботочных электрических сетей и др.

Разработаны грунтопрокалывающие установки для прокладки пластмассовых труб в качестве кожухов на пересечениях в городе подземных коммуникаций с инженерными сооружениями. Они позволяют делать скважины диаметром до 630 мм, в которых могут прокладываться трубы диаметром до 400 мм. Продолжительность эксплуатации кожухов из отходов полиэтилена равна не менее 50 лет, в то время как ранее используемые кожухи из стальных труб требуют замены через 10 лет.

Экструзионно-прессовым методом из полимерных отходов целесообразно изготавливать корпусные изделия, элементы транспортных поддонов, решетчатые

полы, тротуарную плитку, решетки для уличных стоков дождевой и талой воды, различные элементы конструкций канализационных стоков, прототипы черепицы, шифера и др. (рис. 2.11-2.14). Если механические свойства полимерных отходов недостаточные, на их основе целесообразно изготавливать полимерные композиции с волокнистыми наполнителями.

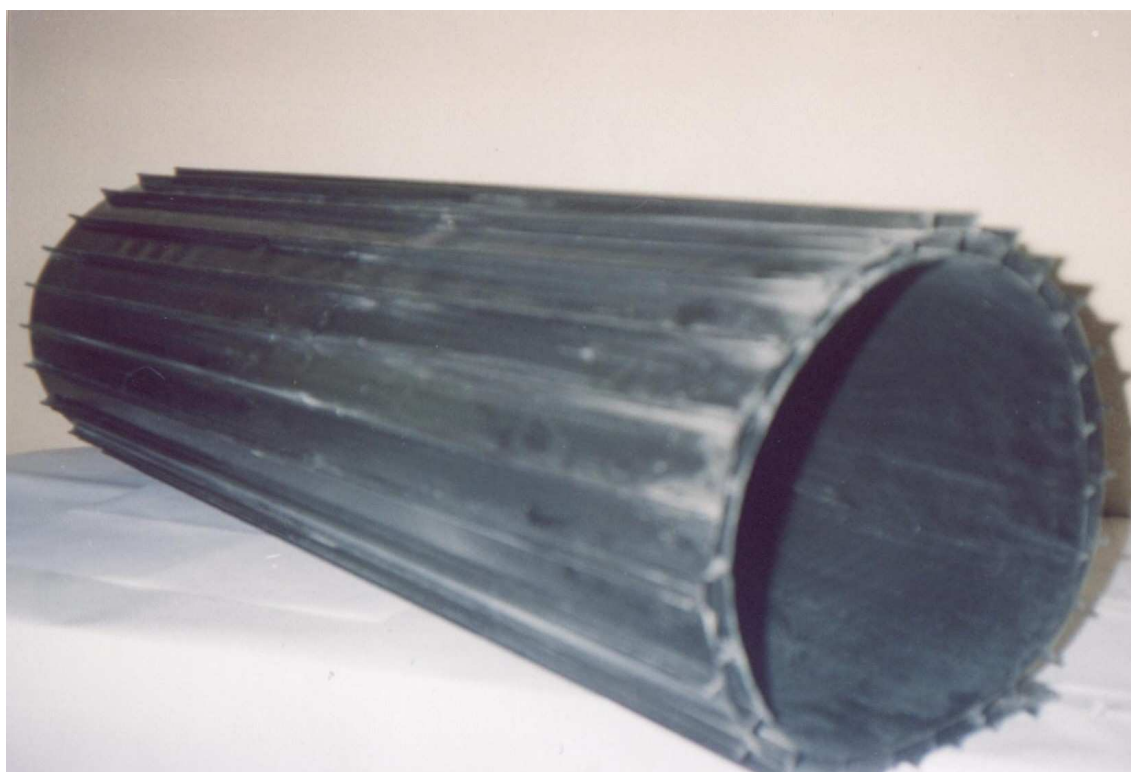
В последнее время все чаще используют в качестве наполнителя композиционных материалов на основе отходов полиэтилена древесные опилки, стружку, отходы сельхозпродукции, например, лузгу проса, подсолнечника, костру и др. Получаемые методом прессования плиты и листы из таких композиций можно использовать как конструкционный материал для изготовления каркасных зданий, благоустройства очистных сооружений, станций биологической очистки сточных вод и др.

Профильно-погонажные изделия из полимерных отходов целесообразно изготавливать методом непрерывного литья под давлением. Этим методом довольно просто изготавливать изделия в виде досок, брусьев, уголков, тавров, швеллеров и других сложных открытых профилей произвольной длины с толщиной базовой стенки не менее 10 мм. Область использования такой продукции очень широкая. Это – технические полы, направляющие различного назначения, каркасы фильтрующих устройств, отстойники, скользящая опалубка и др. Например, на базе каркаса из полимерных профилей легко изготавливаются и надежно эксплуатируются фильтры из фильтрующих полимерных материалов, в частности из отходов синтетических волокон (фильтрная рвань и др.).

Таким образом использование полимерных отходов в коммунальном хозяйстве города является весьма перспективно, но в настоящее время оно сдерживается низкой мощностью индустрии переработки полимерных отходов и отсутствием необходимой нормативно-технической документации.



**Рис. 2.11** — Изделия из вторичного полиэтилена (тротуарная плитка)



**Рис. 2.12** — Изделия из вторичного полиэтилена (лист с анкерными рёбрами)



**Рис. 2.13** — Изделия из вторичного полиэтилена: трубы



**Рис. 2.14** — Изделия из вторичного полиэтилена: решётка  
для ливнестока



**Рис. 2.15** – Крышки канализационных люков, изготовленные из вторичного полимерного сырья



## ***Вопросы для самопроверки***

1. Назовите основные группы полимерных материалов, поступающих на мировой рынок.
2. Использование полимерных материалов в автомобилестроении, железнодорожном транспорте, химической и пищевой промышленности.
3. Основные направления применения различных материалов в строительстве.
4. Основные направления применения различных материалов в коммунальном хозяйстве.
5. Экологическая безопасность и эксплуатационная надежность сетей водоотведения.
6. Основные гипотезы коррозионного разрушения бетона в сетях водоотведения.
7. Особенности микробиологической коррозии конструктивов.
8. Основные этапы коррозионного разрушения бетона сводовой части трубопроводов водоотведения.
9. Динамика химических, микробиологических и минералогических показателей в процессе коррозии бетона.
10. Происхождение и химический состав коррозионно-агрессивных сред (газообразной и жидкой) в сетях водоотведения.
11. Миграция углерода, серы и азота в техногенной экосистеме самотечных трубопроводов водоотведения.
12. Основные направления и конкретные мероприятия борьбы с коррозией сетей водоотведения.
13. Основные результаты применения биоцидов для борьбы с бактериями – возбудителями коррозии бетона.
14. Основные характеристики коррозионно-агрессивных воздействий, оказываемых грибами на полимерные материалы.
15. Устойчивость полимерных материалов к микробиологической коррозии.
16. Принцип метода оценки эффективности различных покрытий в защите бетона от биогенной сернокислотной агрессии.
17. Причины низкой эффективности защиты бетона некоторыми полимерными покрытиями.
18. Основные направления применения полимерных материалов в системах водоотведения.
19. Использование полимерных изделий для защиты бетонных трубопроводов водоотведения.
20. Использование полимерных изделий для бестраншейного ремонта сетей водоотведения.
21. Основные методы санации сетей полимерными материалами в зависимости от глубины коррозионного поражения бетона.
22. Использование полимерных изделий на сооружениях очистки сточных вод.
23. Опыт применения вторичных полимеров в коммунальном хозяйстве.